

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

2003年 5月23日

出願番号  
Application Number:  
[ST. 10/C]:

特願2003-146620  
[JP2003-146620]

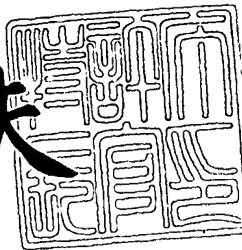
願人  
Applicant(s):

浜松ホトニクス株式会社

2004年 3月29日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3025

【書類名】 特許願

【整理番号】 2002-0601

【提出日】 平成15年 5月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01N 21/00

【発明者】

    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1      浜松ホトニクス株式会社内

    【氏名】 荒田 育男

【発明者】

    【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1      浜松ホトニクス株式会社内

    【氏名】 寺田 浩敏

【特許出願人】

    【識別番号】 000236436

    【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100088155

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

    【識別番号】 100092657

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

    【識別番号】 100124291

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 石田 悟

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 固浸レンズを用いた試料観察方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 屈折率  $n$  の材質により曲率半径  $R$  の球面状の光学面を有して形成された固浸レンズを用い、

前記固浸レンズによる像面特性が所定の条件を満たすように設定された係数  $k$  ( $0 < k < 1$ ) により、前記光学面の球心から光軸に沿って  $k \times (R/n)$  だけ下流側にある点を含み前記光軸に略直交する面を試料観察面として、前記固浸レンズを用いた試料の観察を行うことを特徴とする試料観察方法。

【請求項 2】 前記固浸レンズの前側焦点面を物面とし、後側焦点面を瞳面とした仮想光学系を用いて前記像面特性を評価し、その評価結果に基づいて前記係数  $k$  を設定することを特徴とする請求項 1 記載の試料観察方法。

【請求項 3】 前記固浸レンズによる前記像面特性を、球欠的像面、子午的像面、または球欠的像面及び子午的像面の平均像面によって評価し、その評価結果に基づいて前記係数  $k$  を設定することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の試料観察方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、固浸レンズを用いて試料を観察する観察方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

観察対象となる試料からの光像を拡大するレンズとして、固浸レンズ (S I L : Solid Immersion Lens) が知られている。S I L は、半球形状、またはワイエルストラス球と呼ばれる超半球形状のレンズである。この S I L を試料の表面に密着させて設置すれば、試料観察における開口数  $NA$  及び倍率をともに拡大することができ、高い空間分解能での観察が可能となる (特許文献 1 参照)。

【0 0 0 3】

【特許文献 1】

特公平 7-18806 号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

SILでは、上記した半球形状または超半球形状の構成、及びそれに対応して設定される試料観察面において、球面収差及びコマ収差を生じないアプラナティックな結像が得られることが知られている。しかしながら、このようなSILの構成及び使用条件では、収差がなくなる位置はいずれも1点のみであり、したがって、SILの用途は光ピックアップなどに限られている。

【0005】

すなわち、上記したSILで用いられている試料観察面では、広い範囲で試料を観察しようとする、像面特性が良くない。このため、SILを用いて試料の像を観察しようとする、得られる像ではその周辺部で中央部に比べて分解能が低くなったり、像面湾曲の影響で周辺あるいは中心付近が見えなくなったりするなど、観察に使用可能な視野が制限されてしまうなどの問題があった。

【0006】

本発明は、以上の問題点を解決するためになされたものであり、固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能な試料観察方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

このような目的を達成するために、本発明による固浸レンズを用いた試料観察方法は、屈折率 $n$ の材質により曲率半径 $R$ の球面状の光学面を有して形成された固浸レンズを用い、固浸レンズによる像面特性が所定の条件を満たすように設定された係数 $k$  ( $0 < k < 1$ ) により、光学面の球心から光軸に沿って $k \times (R/n)$  だけ下流側にある点を含み光軸に略直交する面を試料観察面として、固浸レンズを用いた試料の観察を行うことを特徴とする。

【0008】

上記した試料観察方法においては、球心を含む面を試料観察面とする半球形状に対応した構成、あるいは、球心から光軸に沿って $R/n$  だけ下流側にある点を

含む面を試料観察面とする超半球形状に対応した構成を用いず、固浸レンズによる像面特性を評価することによって係数 $k$ を設定する。そして、その係数 $k$ によって決められる点を含む面を試料観察面として、試料の観察を行っている。これにより、観察に使用可能な視野を広くして、固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能となる。

#### 【0 0 0 9】

ここで、固浸レンズによる像面特性の評価については、固浸レンズの前側焦点面を物面とし、後側焦点面を瞳面とした仮想光学系を用いて像面特性を評価し、その評価結果に基づいて係数 $k$ を設定することが好ましい。これにより、瞳面を固浸レンズの後側焦点面にすることで物側テレセントリックにすることができ、レーザスキャン等での反射光観察の実際に則した形とすることができる。実際の顕微鏡に組合せて使用する場合には、顕微鏡対物レンズの瞳位置は瞳としての機能はなくなり、固浸レンズを含んだ光学系の瞳は、固浸レンズの後側焦点位置になってしまうことがわかった。

#### 【0 0 1 0】

また、固浸レンズによる像面特性を、球欠的像面、子午的像面、または球欠的像面及び子午的像面の平均像面によって評価し、その評価結果に基づいて係数 $k$ を設定することが好ましい。これにより、固浸レンズによる試料観察面での像面特性を良好に設定することができる。

#### 【0 0 1 1】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面とともに本発明による固浸レンズを用いた試料観察方法の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

#### 【0 0 1 2】

まず、本発明による固浸レンズ（S I L）を用いた試料観察方法の概略について、従来用いられている S I L の構成及び使用条件とともに説明する。

#### 【0 0 1 3】

図1は、従来のSILの構成及び使用条件の一例を示す図である。図1に示すSIL8は、屈折率 $n$ 、曲率半径 $R$ の半球形状を有するレンズである。このようなSIL8では球心が焦点となっており、その球心を含む面が試料観察面80に設定される。また、試料観察における開口数NA及び倍率はともに $n$ 倍となる。このような構成においてSIL8の像面特性を考えると、図1に示すように、焦点から離れるにしたがって像面が下流側にずれる像面湾曲が生じる。

#### 【0014】

図2は、従来のSILの構成及び使用条件の他の例を示す図である。図2に示すSIL9は、屈折率 $n$ 、曲率半径 $R$ の超半球形状を有するレンズである。このようなSIL9では球心から光軸に沿って $R/n$ だけ下流側にある点が焦点となっており、その点を含む面が試料観察面90に設定される。また、試料観察における開口数NA及び倍率はともに $n^2$ 倍となる。このような構成においてSIL9の像面特性を考えると、図2に示すように焦点から離れるにしたがって像面が上流側にずれる図1とは逆方向の像面湾曲が生じる。

#### 【0015】

本願発明者は、SILを用いた試料観察におけるこのような像面湾曲の発生について詳細に検討した結果、上記した構成で焦点とされている球心と、球心から光軸に沿って $R/n$ だけ下流側にある点との間では、倍率が $n$ 倍と $n^2$ 倍との間で変化するとともに、その像面湾曲も、図1及び図2に示した逆方向の像面湾曲の間で変化していくことを見出した。本発明によるSILを用いた試料観察方法は、このような知見に基づき、イメージングに適した構成及び使用条件でSILを用いて試料の像の観察を行うものである。

#### 【0016】

図3は、本発明による試料観察方法に用いられる固浸レンズの構成及び使用条件について示す図である。本試料観察方法においては、観察対象となる試料2に対し、試料2からの光像を拡大するレンズとして、屈折率 $n$ の材質によって形成されたSIL1を用いる。このSIL1は、軸Axを光軸とし、点Cを球心とした曲率半径 $R$ の球面状の光学面10をレンズ面として形成されている。

#### 【0017】

このような S I L 1 を用いた試料観察方法において、レンズ面 10 の球心 C から光軸 A x に沿って  $k \times (R/n)$  だけ下流側にある点を焦点とする。そして、この焦点を含み光軸 A x に略直交する面 20 を試料観察面として、S I L 1 を用いた試料の観察を行う。

#### 【0018】

ここで、S I L 1 による焦点及び試料観察面 20 の球心 C からみた位置を決める上記した係数  $k$  は、 $0 < k < 1$  の範囲内において設定される係数である。したがって、この焦点の位置は、球心 C と、球心 C から光軸に沿って  $R/n$  だけ下流側にある点との間の位置となっている。特に、この係数  $k$  は、S I L 1 による像面特性が所定の条件を満たすように設定される。

#### 【0019】

すなわち、上述したように、球心 C と、球心 C から光軸 A x に沿って  $R/n$  だけ下流側にある点との間では、倍率及び像面湾曲が順次変化していく。このような特性の変化に対し、S I L 1 による像面特性及びその変化等を評価し、その評価結果に基づいて適切な係数  $k$  の設定、及びそれによる焦点の選択を行う。そして、その係数  $k$  によって決められる点を含む面を試料観察面 20 として、試料 2 の像の観察を行う。このとき、像面湾曲を小さくし、かつ、収差の劣化を十分に小さく抑えた条件で S I L 1 を使用することができる。これにより、観察に使用可能な視野を広くして、S I L 1 を用いて試料 2 の像を良好に観察することが可能となる。

#### 【0020】

以下、S I L を用いた試料の像の観察における収差及び像面特性の評価方法、及び S I L の好適な構成、使用条件等について、図 4 及び図 5 を用いて具体的に説明する。図 4 は、図 3 に示した S I L による像面特性を評価するために用いられる仮想光学系を示す図である。また、図 5 は、図 4 に示した仮想光学系を用いて評価された S I L の特性を示すグラフである。

#### 【0021】

ここで、図 4 において、 $n$  は屈折率、 $s$  は物体面から主平面までの距離、 $h$  は光線の高さを示す。また、上付きバーは、主光線に関する量を表す。ただし、明

細書中においては、例えば「 $h_1$ 」に上付きバーを付したものを「 $h^{-1}_1$ 」などのように表記する。

#### 【0022】

まず、SILによる像面特性を評価する仮想光学系について説明する。ここでは、図4に示すように、SIL1の材質としてシリコン(Si)を想定し、その屈折率を $n_3 = n = 3.5$ とする。また、屈折率 $n_3$ のSIL1の内部以外の領域については、屈折率を $n_1 = n_2 = 1$ とする。また、球心Cを中心とした球面状に形成されたレンズ面10については、その曲率半径を $r_2 = R = 1$ とする。

#### 【0023】

このようなSIL1に対し、その収差及び像面特性を評価するため、SIL1の前側焦点面を物面とし、後側焦点面を瞳面とした仮想光学系を導入する。具体的には、図4に示すように、無収差の仮想対物レンズ3を導入し、SIL1の前側焦点Fに配置する。SIL1のレンズ面10の面頂と、前側焦点Fとの間の距離 $s_1$ は $s_1 = r_2 / (n_3 - n_2)$ により求まり、 $n_3 = 3.5$ の上記した例では $s_1 = 0.4 \times R = 0.4$ となる。

#### 【0024】

また、この無収差の仮想対物レンズ3の焦点距離 $f_i$ については、SIL1の後側焦点F'が仮想対物レンズ3による焦点となるように設定する。このような仮想対物レンズ3を導入した仮想光学系を用いてSIL1の評価を行うことにより、光学系全体の入射瞳は、レンズ面10から $s_1 = 0.4 \times R$ だけ離れた位置にある仮想対物レンズ3上に設定される。また、このように入射瞳等を設定することにより、SIL1の内部でテレセントリックとなり、レーザスキャンによる反射光観察のような実際の観察系に則した形とすることができる。これにより、SIL1による収差及び像面特性を適切に評価することができる。

#### 【0025】

図4には、上記したSIL1及び仮想対物レンズ3による光学系の構成と合わせて、2つの光線 $l_1$ 、 $l_2$ を図示している。これらのうち、光線 $l_1$ は、光軸Axとのなす角が $u_1 = 0$ 、光線の高さが仮想対物レンズ3において $h_1$ 、SIL1のレンズ面10において $h_2$ であり、仮想対物レンズ3よりも上流側で光軸Ax

に平行な光線となっている。また、この光線  $l_1$  は、試料観察面 20 に相当する面  $S'$  において光軸  $Ax$  上の点を通っている。また、光線  $l_1$  について点線で示した  $SIL1$  がない場合の光線は、仮想対物レンズ 3 による焦点面  $S$  において光軸  $Ax$  上の点  $F'$  を通っている。

### 【0026】

また、光線  $l_2$  は、光軸  $Ax$  とのなす角が  $u^{-1}$ 、光線の高さが仮想対物レンズ 3 において  $h^{-1} = 0$ 、 $SIL1$  のレンズ面 10 において  $h^{-2}$  であって、レンズ面 10 よりも下流側で光軸  $Ax$  に平行な光線となっている。また、この光線  $l_2$  は、仮想対物レンズ 3 において光軸  $Ax$  上の点  $F$  を通り、試料観察面  $S'$  において光軸  $Ax$  との距離が  $Y'$  となっている。また、光線  $l_2$  について点線で示した  $SIL1$  がない場合の光線は、焦点面  $S$  において光軸  $Ax$  との距離が  $Y$  となっている。

### 【0027】

また、 $SIL1$  のレンズ面 10 の面頂から焦点面  $S$  までの距離を  $s_2$ 、試料観察面  $S'$  までの距離、すなわち  $SIL1$  の厚さを  $s_2' = d$  とする。以上の構成及び条件を有する図 4 の仮想光学系において、 $SIL1$  の球面収差係数  $I$ 、コマ収差係数  $II$ 、非点収差係数  $III$ 、ペッツバル和  $P$ 、球欠的像面の湾曲  $III + P$ 、及び子午的像面の湾曲  $3III + P$  の各収差係数を  $SIL1$  の厚さ  $d$  で表すと、それぞれ以下の式 (1) ~ (6) のように求められる。

### 【0028】

#### 【数 1】

$$I = h_2^4 \cdot Q_2^2 \cdot \Delta(1/ns)_2 = (d/1.4)^4 \cdot \{4.9(d-1)/d\}^2 \cdot (3.5 - 4.5/d) \\ = 6.25(d-1)^2(3.5d - 4.5)d \quad \dots(1)$$

$$II = J_2 \cdot I = 2.5(d-1)(3.5d - 4.5)d \quad \dots(2)$$

$$III = J_2 \cdot II = (3.5d - 4.5)d \quad \dots(3)$$

$$P = p = (1/n_2 - 1/n_3)/r_2 = 1 \quad \dots(4)$$

$$III + P = 1 + (3.5d - 4.5)d \quad \dots(5)$$

$$3III + P = 1 + 3(3.5d - 4.5)d \quad \dots(6)$$

### 【0029】

ここで、 $Q_2$  はアッペの不変量である。また、 $Q_2$  及び  $J_2$  は、以下の式で表さ

れる。

【0 0 3 0】

【数 2】

$$Q_2 = n_2(1/r_2 - 1/s_2) = 4.9(d-1)/d$$

$$J_2 = \overline{Q}_2 \overline{h}_2 / Q_2 h_2$$

【0 0 3 1】

また、ペッツバル像面、球欠的像面、及び子午的像面の曲率（実寸）は、それぞれ以下のようになる。

【0 0 3 2】

【数 3】

- $P/f_i = -0.7143 \text{ (1/mm)} = \text{一定} \dots$  ペッツバル像面
- $\{1 + (3.5d - 4.5)d\}/1.4 \text{ (1/mm)} \dots$  球欠的像面
- $\{1 + 3(3.5d - 4.5)d\}/1.4 \text{ (1/mm)} \dots$  子午的像面

【0 0 3 3】

図 5 に、上記の式によってそれぞれ求めた球面収差係数 I、コマ収差係数 II、非点収差係数 III、球欠的像面の湾曲 III + P、及び子午的像面の湾曲 3 III + P の各収差係数と、球欠的像面及び子午的像面の平均像面とのグラフを示す。このグラフにおいて、横軸は S I L の厚さ  $s_2' = d$  を示し、縦軸は各収差係数の値を示している。また、この横軸に示す厚さ  $d$  と、図 3 に示した係数  $k$  とは、図 4 において  $R = 1$  としていることにより、 $k = n \times (d - 1) = 3.5 \times (d - 1)$  の関係を有している。

【0 0 3 4】

図 5 に示す各グラフより、球心を含む面を試料観察面とした場合（図 1 参照）に対応する  $d = R = 1$  の点、及び、球心から光軸に沿って  $R/n$  だけ下流側にある点を含む面を試料観察面とした場合（図 2 参照）に対応する  $d = R + R/n = 1.286$  の点では、それぞれ球面収差係数 I 及びコマ収差係数 II がともに零となっており、アプラナティック条件を満たしている。しかしながら、これらの点では、上記したように像面湾曲が生じている。なお、 $d = 1$  の点では、球欠的像

面の湾曲 $III+P$ も零となっている。また、 $d=1.286$ の点では、非点収差係数 $III$ も零となっている。

#### 【0035】

これに対して、球欠的像面及び子午的像面の平均像面についてみると、 $d=R+k(R/n)=1.163 \times R=1.163$ の点において、像面がフラットになっていることがわかる。すなわち、像面がフラットで視野が広く取れる条件である、平均像面が光軸に垂直な平面となる条件を満たすためには、像面の湾曲が $III+P=-(3III+P)$ となれば良い。この条件から、上記した各式より $d=1.163$ が得られる。また、このとき、試料観察面に対して設定される係数 $k$ は約 $0.6$  ( $k=0.57$ )と求められる。このように求められた係数 $k$ を適用した構成及び使用条件でSIL1を用いて試料観察を行うことにより、広い視野で、良好な試料の像を取得することが可能となる。

#### 【0036】

なお、SILの外側でテレセントリックとなる通常の入射瞳位置の条件で計算を行った場合、平均像面がフラットとなるのはSILの厚さが $1.274 \times R$ の点となり、上記した結果とは全く異なる計算結果となっている。

#### 【0037】

本発明による固浸レンズを用いた試料観察方法は、上記した実施形態に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、上記した例では、SILの材質の例としてシリコンを挙げているが、シリコン以外にも、適用する試料の材質や観察条件等に応じて様々な材質を用いて良い。

#### 【0038】

また、上記した例では、SILの屈折率を $3.5$ ＝一定としている。これは、単一波長での試料観察の場合、または波長による屈折率変化が無視できる場合に対応している。したがって、上記のように $k$ を $0.6$ 近傍とする条件は、単一波長の光によって試料に対して観察、検査等を行う場合に有効である。

#### 【0039】

これに対して、例えば $750\text{ nm} \sim 1050\text{ nm}$ の波長幅で観察を行う場合など、観察の波長幅が広い発光観察等においては、シリコンからなるSILでは、

k を 0.3 程度とすることにより、色収差とその他の収差とがバランスする。このように、必要があれば、観察を行う波長幅を考慮して像面特性の評価及び係数 k の設定等を行うことが好ましい。

#### 【0040】

また、係数 k については、上記した例では、平均像面がフラットになる点によって係数 k を設定している。これにより、SIL による試料観察面での像面特性を良好に設定することができる。ただし、この係数 k の設定については、平均像面がフラットになる点の近傍で所定の条件範囲内にある点によって設定する方法を用いても良い。あるいは、平均像面ではなく、球欠的像面、または子午的像面がフラットになる点によって係数 k を設定しても良い。

#### 【0041】

また、試料に対する SIL の設置方法については、図 3 では試料 2 の表面が試料観察面 20 となっている構成を示したが、このような構成に限られない。図 6 は、本発明による試料観察方法に用いられる固浸レンズの構成及び使用条件の他の例について示す図である。この例では、試料であるシリコン基板 2 に対して、同じくシリコンからなる SIL 1 を適用するとともに、基板 2 の裏面が試料観察面 20 となっている。

#### 【0042】

このような構成では、シリコン基板 2 の所定部分が SIL 1 の下流側部分として機能することによって、表面を試料観察面 20 とする場合と同様に、試料の像を観察することができる。このような観察方法は、例えば、半導体デバイスを裏面観察によって検査するような場合に適用することができる。

#### 【0043】

##### 【発明の効果】

本発明による固浸レンズ (SIL) を用いた試料観察方法は、以上詳細に説明したように、次のような効果を得る。すなわち、固浸レンズによる像面特性を評価して所定の条件を満たすように係数 k ( $0 < k < 1$ ) を設定し、固浸レンズの球面状の光学面の球心から光軸に沿って  $k \times (R/n)$  だけ下流側にある点を含み光軸に略直交する面を試料観察面とする観察方法によれば、観察に使用可能な

視野を広くして、固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

従来の固浸レンズの構成及び使用条件の一例を示す図である。

【図 2】

従来の固浸レンズの構成及び使用条件の他の例を示す図である。

【図 3】

本発明による試料観察方法に用いられる固浸レンズの構成及び使用条件について示す図である。

【図 4】

図 3 に示した固浸レンズによる像面特性を評価するために用いられる仮想光学系を示す図である。

【図 5】

図 4 に示した仮想光学系を用いて評価された固浸レンズの特性を示すグラフである。

【図 6】

本発明による試料観察方法に用いられる固浸レンズの構成及び使用条件の他の例について示す図である。

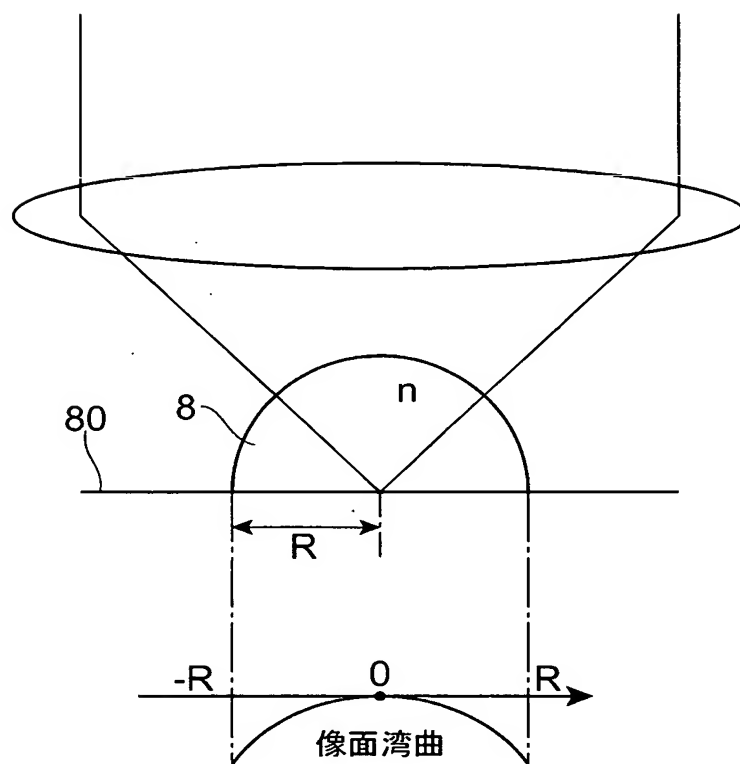
【符号の説明】

1…固浸レンズ (SIL)、10…レンズ面 (光学面)、2…試料、20…試料観察面、3…仮想対物レンズ、Ax…光軸、C…球心。

【書類名】

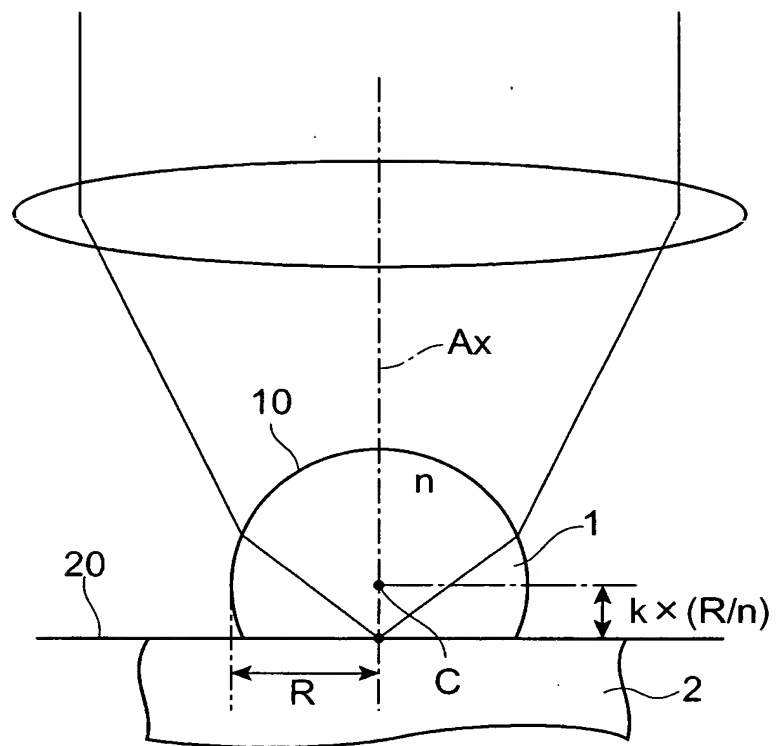
図面

【図 1】



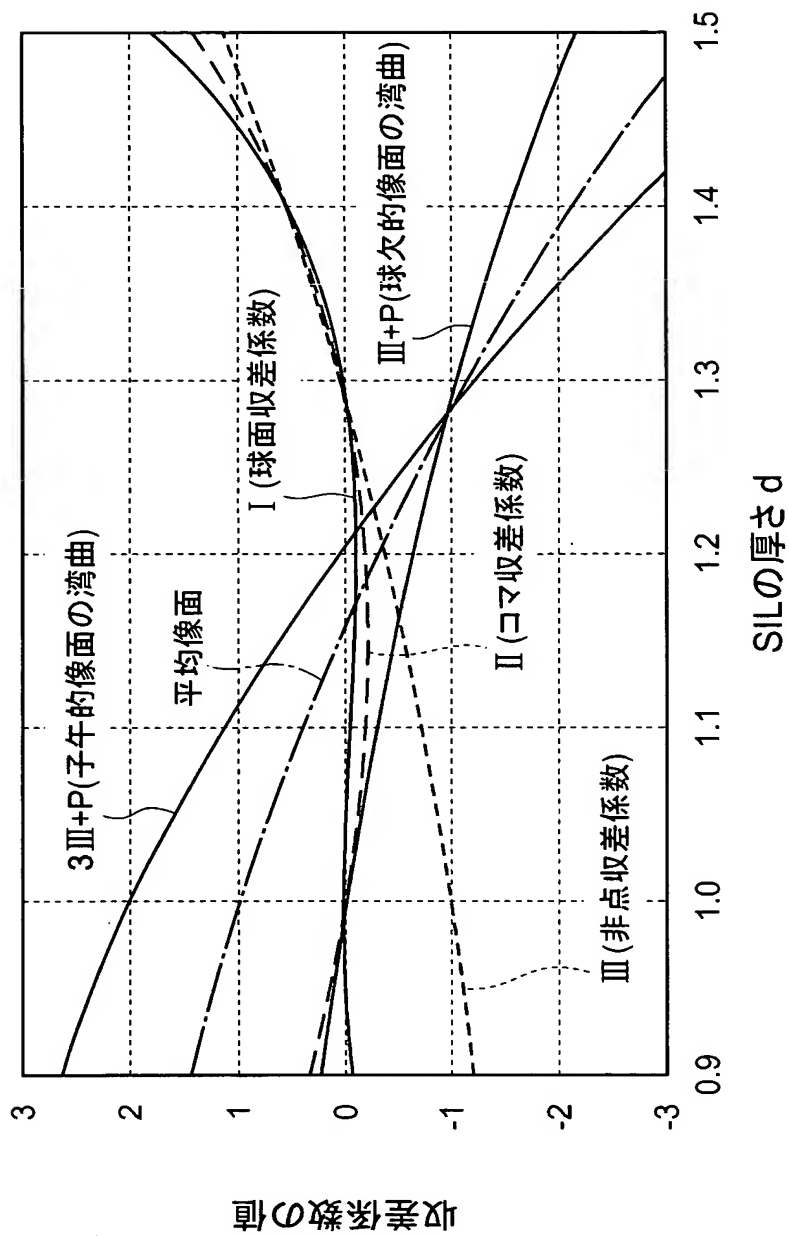


【図 3】

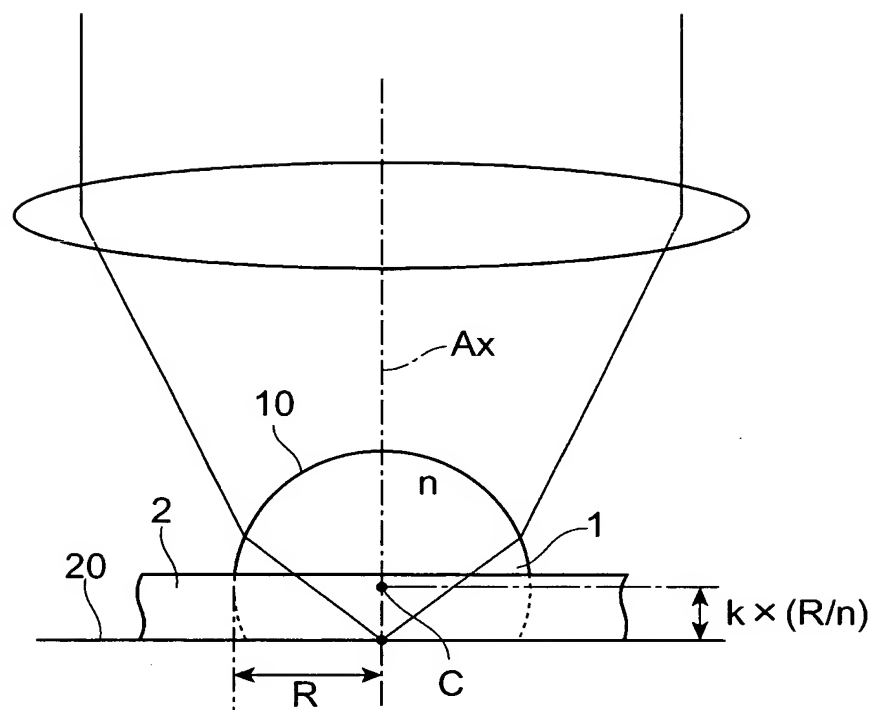




【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 固浸レンズを用いて試料の像を良好に観察することが可能な試料観察方法を提供する。

【解決手段】 屈折率  $n$  の材質により曲率半径  $R$  の球面状のレンズ面 10 を有して形成された固浸レンズ (SIL) 1 を用いて試料 2 の像を観察する。この試料観察において、SIL 1 による像面特性を所定の光学系を用いて評価する。そして、その平均像面がフラットになる条件を満たすように設定された係数  $k$  ( $0 < k < 1$ ) により、レンズ面 10 の球心  $C$  から光軸  $A_x$  に沿って  $k \times (R/n)$  だけ下流側にある点を含み光軸  $A_x$  に直交する面を試料観察面 20 として、SIL 1 を用いた試料の観察を行う。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 3 - 1 4 6 6 2 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 2 3 6 4 3 6 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由] 新規登録

住 所 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

氏 名 浜松ホトニクス株式会社